**V SIMPOSIO DE MATERIALES**

**Título**

**“FACTIBILIDAD DEL USO DE LOS DESECHOS DE LOS LADRILLOS DE MgO-C”**

***Title***

***““STUDY OF THE USE OF THE MgO-C BRICK WASTES TO INCREASE”***

**Ing. Alain Marin Carrazana 1, Ing. Jesseca Blanco Perdigón2**

1- Ing. Alain Marin Carrazana. Empresa Siderúrgica Antillana de Acero, Cuba. alain@aacero.co.cu

2- Ing. Jesseca Blanco Perdigón. Ejército de Salvación, Cuba. ejdivcuba@enet.cu; jperdigon@nauta.cu

**Resumen:** La Empresa Siderúrgica Antillana de Acero es una industria que produce en el año grandes toneladas de acero, el revestimiento refractario del HAE (Horno de Arco Eléctrico) y las cazuelas son de ladrillos de base MgO-C, cuando estos son retirados se desechan. Por esta razón en el presente trabajo se estudió la posibilidad de reciclar los ladrillos refractarios de base MgO-C para el incremento del porciento MgO en la escoria, dándole, un incremento en la viscosidad de la escoria mejorando las propiedades de espumamiento y a la vez promoviendo una mayor eficiencia en la transferencia de energía del arco eléctrico al baño metálico. Disminuyendo de esta manera el consumo de fundente y así aumentar la durabilidad del refractario del HAE. En este trabajo también se abordaron los aspectos generales de la escoria su influencia en la formación del acero, los fundentes que se utilizan con las exigencias que llevan y la importancia de la escoria espumosa.

***Abstract:*** *The "Antillana de Acero" Steel Company is an enterprise that produces high tonnages of steel every year. The refractory lining of the EAF (Electric arc furnace) and the ladles are made of basic MgO-C bricks and when these are removed they are discarded. So, the present work aims at studying the recycling of MgO-C bricks to increases the percentage of MgO in the slag and its viscosity. The foaming properties of the slag are improved and the transfer of energy from the slag to the metal bath is used more efficiently. The consumption of fluxes decreases and the durability of the refractories in the EAF increases.*

**Palabras Clave:** reciclaje, durabilidad, escoria, horno de arco eléctrico (HAE).

***Keywords:*** *recycling, durability, slag, electric arc furnace (EAF).*

**1. Introducción**

La práctica de reciclar los ladrillos refractarios de desecho en la industria siderúrgica no es nueva ya que se ha realizado anteriormente en muchas plantas de fabricación de acero en diferentes partes del mundo. Llega a ser hoy en día una práctica bastante difundida y aceptada por los aceristas sustentados en la disponibilidad de información con respecto a la solubilidad de las escorias, la tecnología de la escoria espumosa, el ahorro de fundentes, los resultados positivos alcanzados desde los puntos de vista técnico y económico. Hoy en día con la disponibilidad de una gran información con respecto a los aspectos mencionados y la adquisición de datos por medio de los programas disponibles en las computadoras, es posible contribuir a estos estudios mediante un análisis más detallado. El propósito inicial al reciclar el ladrillo refractario de desecho base MgO-C es el de disminuir el consumo de fundentes y mejorar las condiciones de viscosidad y espumamiento de la escoria.

En las industrias de la producción de acero en Cuba esto no se ha puesto en práctica y una de las empresas que desecha grandes cantidades de ladrillos de MgO-C es la Siderurgia Antillana de Acero.

En la acería eléctrica de esta empresa los ladrillos refractarios de MgO-C que se desechan de los HAE y las cazuelas de metalurgia secundaria generalmente se depositan en área interiores y aledañas a las instalaciones constituyendo de hecho un problema medio ambiental, creando un foco de contaminación para el taller ya que están muy cerca de donde trabajan los obreros causándole daño a su salud y la degradación de los suelos.

**Objetivo:** Disminuir el consumo de fundente, aumentar la durabilidad del refractario, y asi mejorar las condiciones de espumamiento y viscosidad de la escoria, mediante el uso de ladrillos refractarios reciclados de MgO-C que hoy son desechados.

Es precisamente por todo lo anterior que nos planteamos el siguiente **problema:**

¿Cómo mejorar la durabilidad del refractario, el consumo de fundente, la contaminación del taller y las propiedades de la escoria en el HEA de la Empresa Siderúrgica Antillana de acero?

**2. Metodología**

En la zona de la escoria el desgaste se encuentra localizado fundamentalmente en la sección donde oscila el nivel de escoria, la causa fundamental es el ataque químico de la escoria al ladrillo .El cual se manifiesta a través de dos mecanismos:

1- Ataque por disolución

2- Ataque por penetración

Ataque por disolución: el refractario se disuelve en la escoria, hasta que esta se satura de los elementos del ladrillo. Este mecanismo se intensifica si la superficie de la reacción escoria - refractario se remueve o renueva constantemente. En nuestro caso, producto de la agitación del baño con nitrógeno esta operación es una de las causas fundamentales del desgaste del refractario.

 Ataque por penetración: ocurre por la penetración en el revestimiento, de la escoria y de los compuestos formados por la reacción entre la escoria y el ladrillo; formándose compuestos de bajo punto de fusión que destroza el ladrillo.

**2.1. Saturación de óxido de magnesio (MgO) en la escoria.**

El contenido de MgO con saturación doble (CaO + MgO), se muestra gráficamente en la figura 1, en función de la basicidad de la escoria (B=CaO/ SiO2) a 1600 0c. Esta figura muestra que los límites de saturación de MgO decrecen cuando aumenta la basicidad. La información en la figura1 nos demuestra la mínima cantidad de MgO en la escoria para que sea compatible con el refractario básico para una basicidad específica [1].



Fig. 1. La solubilidad del MgO para escoria con saturación doble con respecto al CaO y MgO a 1600ºC.

Para escorias con basicidad mayor que 3,5 los límites de solubilidad son de 6 a 5.5 % de MgO lo que permanece constante en el sistema CaO-MgO-FeO. La solubilidad del MgO con saturación doble en este sistema es aproximadamente de 5.5 % de MgO a 1600 ºC.

Otra característica importante en este diagrama es el incremento significativo de la solubilidad del MgO para escorias con niveles de basicidad menores que dos en algunos casos la escoria inicial que se forma en el HAE puede tener una basicidad baja lo que resulta una acta solubilidad del MgO.

La adición de dolomita en la primera cesta de chatarra proveerá las unidades de MgO necesaria para la saturación, minimizando el consumo de refractarios en el fondo y en los bancos bajos del horno.

**2.2. Efecto de la temperatura en la solubilidad del MgO en la escoria.**

El efecto de la temperatura en la solubilidad del MgO ha sido aproximado en el sistema MgO, CaO y FeO, a solubilidad del MgO es la menos sensible a la temperatura y la dependencia de esta es de 1.75 % MgO por cada 100 oC .es decir que cada 100 oC de MgO aumenta la solubilidad del MgO 1,75%, sin embargo en el otro sistema esta cambia por cada 100 oC aproximadamente de 2 – 3 %. Usando datos experimentales Selin intentó determinar el efecto de la temperatura en la solubilidad del óxido de magnesio, estos datos fueron de solo una pequeña en dependencia de la temperatura aproximadamente de 1.25% de MgO por cada 100 oC.

En este trabajo la dependencia de la temperatura de 1.75 % de MgO por cada 100 oC fue utilizado como la siguiente [1].

% MgOT = %MgOref + {0.0175\*(T-16000c)}

Donde:

% MgOT = % MgO es la temperatura T en ºC

%MgOref = %MgO a 1600ºC

**2.3. Análisis de las muestra de escorias extraídas del HAE antes de introducir los ladrillos reciclados de MgO - C.**

Según las muestras de escoria analizadas en el período (abril y mayo) los contenidos de óxidos en las escorias se muestran en la tabla1. Estas escorias se analizaron en el laboratorio de la Empresa Antillana de Acero. En este, se analiza la composición química de las escorias en el derretido y antes de evacuar. Se observó el porciento de MgO en la escoria y su basicidad entre otras cosas.

Tabla 1. Composición química de las escorias.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| HORNADA | MUESTRA | SIO2 | CaO | MgO | Fe2O3 | CaO+MgO | Basicidad  |
| 2034 | (evacuando) | 14.00 | 41.78 | 8.26 | 7.47 | 50.04 | 2.98 |
| 1382 | (derretido) | 17.08 | 39.26 | 4.84 | 6.93 | 44.10 | 2.29 |
| 1382 | (evacuando) | 21.06 | 35.33 | 8.67 | 2.67 | 43.93 | 1.67 |
| 1649 | (derretido) | 14.37 | 34.00 | 7.03 | 19.53 | 41.30 | 2.36 |
| 1649 | (evacuando) | 14.25 | 42.41 | 6.55 | 24.43 | 48.96 | 2.97 |
| 1650 | (derretido) | 18.77 | 38.20 | 7.56 | 16.75 | 45.76 | 2.03 |
| 1650 | (evacuando) | 18.25 | 41.01 | 10.07 | 10.44 | 51.08 | 2.24 |
| 1752 | (derretido) | 21.90 | 30.78 | 10.33 |  | 41.11 | 1.40 |
| 1752 | (evacuando) | 22.63 | 43.84 | 8.36 |  | 52.2 | 1.93 |

Los límites de saturación de MgO decrecen cuando aumenta la basicidad. El desgaste del refractario por el ataque químico, depende del control que se tenga del MgO en la escoria. Si durante el tratamiento de la colada el contenido de MgO se mantiene cerca de los niveles de saturación, la escoria tiene poca capacidad para disolver el MgO del refractario del horno [1].

 La información en la figura 2 nos demuestra la irregularidad en algunos puntos de la figura que no se comporta como debe ser, para que la cantidad de MgO en la escoria sea compatible con el refractario básico para una basicidad específica.

Esto nos da una medida de la inestabilidad de la escoria y cómo está atacando al refractario del horno para tener la saturación de MgO que necesita. También nos da la medida del poco control que tienen sobre el cuidado del refractario en la zona de trabajo del horno.



Fig 2. La solubilidad del MgO en la escoria para una basicidad específica.

**2.4. Composición química de la caliza y la cal (CaO).**

En la tabla 2 y 3 se describe la composición química de la cal y la caliza, respectivamente.

Tabla 2. Composición química de la caliza.

|  |
| --- |
| Composición química de la caliza (%) |
| CaO | MgO | SiO2 | Al2O3+Fe2O3 | MnO+Na2O+K2O | P2O5 | CaCO3 | SO3 | S |
| 53.89 | 0.21 | 0.08 | 0.30 | 0.30 | 0.06 | 97.4 | 0.50 | 0.20 |

Tabla 3. Composición química de la cal.

|  |
| --- |
| Composición química de la cal (CaO %) |
| SIO2 | CaO | MgO |
| Máx. 2.0 | 80 hasta 85 | Máx. 2.0 |

**2.5. Cálculo de la cantidad de ladrillos reciclados de MgO-C que se adicionará al horno.**

Para este cálculo se consideraron las toneladas de escoria que tiene el horno como 5 t y la concentración de MgO que tiene la escoria adicionada por la cal como 2,0 %.

La cantidad de MgO contenido en la escoria es:

****

**** (1)

(2)

La cantidad de MgO que tiene la escoria por las muestras que se analizarón.

****

(3)

La cantidad necesaria de MgO en la escoria para satisfacer la saturación es:



 (4) 

(5)

Considerando la concentración de MgO en el ladrillo 96 %. La cantidad de ladrillos molido que hay que adicionar a la escoria es:



(6)

Esto significa una cantidad mínima de ladrillo molido de:



(7)

**3. Resultados y discusión**

El experimento arrojó como resultado que se pueden utilizar estos ladrillos para estos fines, que de hecho se ahorra fundente (cal) y se elimina el foco de contaminación que provocan estos ladrillos en el taller. Esto es de suma importancia ya que estos materiales tienen un costo de importación muy elevado (1 400 USD aproximadamente) y hoy son desechados o donados a Refractario Habana, que posterior a un proceso de beneficio lo vende nuevamente a la empresa.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se comparan los resultados de las 5 hornadas realizadas con los resultados de otras tantas sinMgO-C de las que se tomaron las muestras de escorias de cada una y se analizaron en el laboratorio. También pueden ser comparadas con otras hornadas efectuadas en el proceso de fusión.

Tabla 4. Hornadas realizadas con MgO y sin MgO.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Consumo eléctrico** | **Hornada con MgO-C** | **Hornada sin****MgO-C** | **Dif.** |
| kwh/C.M | 507.5 | 520.8 | -13.3 |
| kwh/T.A.L | 539.9 | 569.8 | -29.9 |
| Mwh | 38.49 | 35.78 | +2.78 |
| T.A.L ( t) | 71.3 | 62.8 | +8.5 |
| Cal ( t) | 3.6 | 3.9 | -0.3 |
| Chatarra total | 76.6 | 77.8 | -1.2 |

En la tabla 4 se muestran los resultados, como se había señalado, el ahorro de cal es de 0.3 t por hornadas. Aún esto no es un resultado que se pueda afirmar como definitivo o tomar por satisfactorio pero pone de manifiesto una idea para trabajar en esa dirección. También falta por analizar el porciento de MgO en la escoria que aportaron los 200 kg de ladrillos y el nivel de saturación.

**3.1. Valoración económica**

Mensualmente la acería desecha 86,14 t de ladrillos MgO –C, o sea que en un año se desperdician 1 033.7 t.

En el HAE se pueden introducir 200 kg ( 0.2 t ) que ahorra 300 kg (0.3 t) de fundentes, para una producción anual de 190 000 t se ahorraría 876.9 t de fundente (cal) que equivale a 30 344,2 CUC, que es el costo de producción en la planta de cal y al precio del mercado 63 643.9 CUC (Tabla 5).

-190 000 t / 65 t = 2923 hornadas

- 2 923 hornadas \* 0.3 t = 876.9 t de fundentes

En la siguiente tabla (Tabla 5) se puede observar el precio de una tonelada de cal producida en la Planta de Cal de la Empresa Antillana de Acero y el precio del mercado nacional; esto puede variar de acuerdo a las exigencias del mercado.

Tabla 5. Precio de la cal en la planta y el del mercado en tonelada métrica.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Costo de la cal de la planta (CUC)** | **Precio de la cal en el mercado (CUC)** | **Diferencia (CUC)** |
| 34.6 | 72.57 | 37.67 |

La adquisición de esos ladrillos es muy cara ya que son importados y la tonelada está en el orden de miles de dólares (Ver tabla 6) para que anualmente se desechen 1 033.7 t pudiendo ser empleados para beneficio y ahorro de la acería.

El costo de producción de la molienda de esos ladrillos está sobre los 16 CUC, esto puede variar de acuerdo a las exigencias del mercado y pueden bajar más si reactivan los molinos que están en el almacén N0 41 detrás de la acería, si es comparado con el precio de la cal; es mucho más económico y nos ahorraría 0.3 t de cal.

En la tabla 6 se pueden apreciar los distintos precios, cantidades y modelos de los ladrillos MgO-C que se utilizan en la acería eléctrica de la empresa Antillana de Acero, en el horno y las cazuelas, estos precios pueden variar de acuerdo a los exigencias del mercado y a sus proveedores.

Tabla 6. Precio y cantidades de ladrillos MgO-C.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **MATERIAL** | **CANTIDAD EMPLEADA, (kg)** | **PRECIO UNITARIO, (CUC)** | **VALOR TOTAL, (CUC)** |
| Liub X 15 35/0 | 2440.0 | 1433.16 | 3496.91 |
| Liub 510 A 35/40 | 3887.0 | 1465.96 | 5698.18 |
| Liub 515A 35/40 | 1190.0 | 1403.64 | 1670.33 |
| Liub 510A 35/0 | 480.0 | 1465.96 | 703.66 |
| CMag C10 25/40 | 908.0 | 1678.86 | 1524.40 |
| CMag C10 25/8 | 1000.0 | 1678.86 | 1678.86 |
| CMag C6 35/0 | 1333.0 | 1670.59 | 2226.89 |

**3.2. Impacto ambiental**

Al realizar este trabajo se puso en práctico el reciclaje de los desechos de ladrillos refractarios de MgO-C que se encuentran en el taller de la acería eléctrica y las áreas aledañas a este, los cuales contaminan los suelos y provocan la degradación de estos. En forma general estos contaminantes en el suelo actuarían de forma directa sobre la vegetación induciendo su degradación, la reducción del número de especies presentes en el mismo, y más frecuentemente la acumulación de contaminantes en las plantas**,** sin generar daños notables en estas.

Estos desechos influyen además en la limpieza e higiene del taller, porque junto con los ladrillos vierten otros tipos de desechos sólidos como nailon, madera, cartón entre otros; los cuales provocan acumulación de polvo que afecta a la salud de los obreros.

En el hombre los efectos se restringen a la ingestión y contacto dérmico, que en algunos casos ha desembocado en intoxicaciones por metales pesados y más fácilmente por compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles. El Magnesio puede provocar efectos sobre la salud de diversas formas: en polvo, baja toxicidad y no considerado como peligroso para la salud; inhalación: el polvo de magnesio puede irritar las membranas mucosas o el tracto respiratorio superior; ojos: daños mecánicos o las partículas pueden incrustarse en el ojo. La visión directa del polvo de magnesio ardiendo sin gafas especiales puede resultar en ceguera temporal, debido a la intensa llama blanca; piel: incrustación de partículas en la piel. La ingestión es poco posible; sin embargo, se toma en grandes cantidades el polvo de magnesio puede causar daños.

**4. Conclusiones**

- El reciclaje del material refractario base MgO-C ha tenido un impacto positivo al ser utilizado en el horno de arco eléctrico como acondicionador de escoria.

- Mejoró las condiciones de espumamiento de la misma debido a una mayor viscosidad producida por un contenido mayor de MgO.

- Se obtuvo un ahorro palpable en el consumo de fundentes de 0.3 t por hornadas y que los niveles de energía en algunos casos mejoraron y en otros se mantuvieron estables.

**5. Referencias bibliográficas**

[1] Smirnov, N.; Fanjul, A. y Cabezas, G. – Producción de acero – Editorial pueblo y educación, La Habana, 1984.

[2] Bogachkov, Assef Namur. Estudio para la utilización de la escoria del horno cuchara en la elaboración de cementos. 1998.

[3] Kudrin, V. A. – Metalurgia del acero – Editorial Mir, Moscú, 1984.

[4] Tesis Chil, José Oscar ¨ Estudio del régimen de insuflado de carbono para la formación de escoria espumosa en el horno de arco eléctrico de Antillana de Acero ¨. Capítulo I y II, Julio 2003.

[5] Tesis. Mesa Carnero, Jorge Luís ¨ Estudio de la utilización de la escoria del horno cuchara como fundente en el horno de arco eléctricos. Capítulo I, julio 2003.

[6] [www.botanical-online.com](http://www.botanical-online.com). 20 de mayo de 2017.

[7] Tapia C, Orlando, Conejo, A. ¨ El reciclaje del ladrillo de MgO-C como acondicionador de escorias en el horno de arco eléctrico ¨ Departamento de Ingeniería de Procesos Acería Eléctrica. Instituto Tecnológico de Morelia. 2015.

[8] R. Selin ¨Studies on MgO Solubility in Complex Steelmaking Slagss in equilibriun with liquid Iron and Distribution of Phosphorus and Danadiunm betueen Slag and metal at MgO.¨2014.